2Д

УДК 621.865.8

О.В. Даринцев[1], А.Б. Мигранов[1], Б.С. Юдинцев[2]
[1]Институт механики Уфимского научного центра РАН, г. Уфа, Россия
[2]Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия

Нейросетевой алгоритм планирования траекторий для группы мобильных роботов*

Рассматриваются вопросы построения интеллектуальной системы планирования траекторий движения для группы мобильных роботов на базе рекуррентной нейронной сети. Планирование реализовано по гибридному принципу и заключается в построении общего блока конструктора пути для формирования траекторий участников группы в рабочем пространстве и использовании распределенной рекуррентной нейронной сети для формирования нейронной карты с учетом целевых позиций каждого из мобильных роботов.

Введение

Для управления движением мобильных роботов, функционирующих в условиях неопределенности, в последние годы широкое распространение получили методы решения на основе интеллектуальных алгоритмов: нейронных сетей (НС), генетических алгоритмов и нечеткой логики [1], [2]. В **данной работе** будет рассмотрена методика синтеза интеллектуального (адаптивного) управления движением мультиагентных систем в условиях неопределённости на основе нелинейных технологий управления, реализуемых в нейросетевом базисе.

Предложенный подход является развитием рассмотренной в предыдущей работе авторов методики использования нейронной карты для планирования траектории мобильного робота [3]. Первый вариант системы позиционирования мобильного робота основан на одновременной работе трех подсистем: нейронной сети, генератора траектории и регулятора скорости (рис. 1). Для простейшего случая, когда планирование траектории проводится для одного мобильного робота в стационарном рабочем пространстве, отсутствие динамических препятствий снимает необходимость планирования с учетом скорости перемещения, поэтому архитектура системы может быть упрощена: работают только нейронная карта и генератор траектории. Введем следующие обозначения: R – мобильный робот, C – заданное рабочее пространство. Некоторый внешний источник (сенсорная система) непрерывно обеспечивает систему планирования информацией X об окружающей среде. По получаемой информации определяются конфигурация заданного пространства C и расположение препятствий. Следует отметить, что определение точной конфигурации рабочего пространства во многом зависит от технических возможностей внешнего источника (сенсорной системы). Сенсорная информация X с помощью энергетических взаимодействий нейронов в сети отображается в виде нейронной карты Ψ на нейронной области F.

* Результаты, представленные в данной статье, получены в рамках работ по проекту Программы №15 ОЭММПУ РАН и грантов РФФИ 08-08-97021-р_поволжье_а, 08-08-97039-р_поволжье_а, 10-08-00567-а.

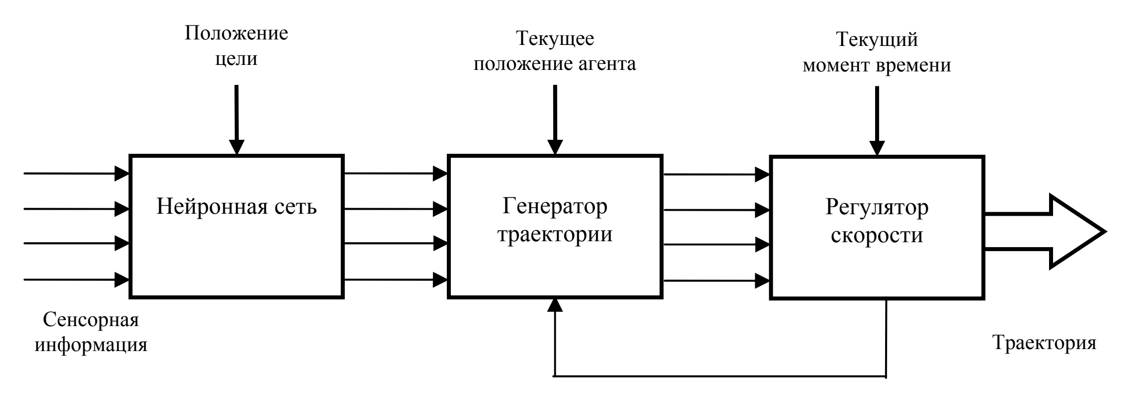


Рисунок 1 – Архитектура системы планирования

Основная идея предлагаемого подхода состоит в том, чтобы использовать нейронную карту как динамическое представление заданного пространства, информация о которой поступает с внешних источников. Энергетические взаимодействия нейронов в сети подобно распространению волны возмущений приводят к возникновению так называемого ландшафта активации, который используется в дальнейшем как навигационная карта для планирования траектории.

Координаты цели, а также информация об окружающей среде поступают на вход аналоговой нейронной сети Хопфилда (рис. 2), которая представляет собой слой адаптивных сумматоров с обратными связями, выходные сигналы которых, подвергаясь нелинейной обработке по заданному закону, поступают с некоторой временной задержкой на входы нейронов, в результате чего выходной сигнал нейронной сети формируется лишь после того, как сеть достигнет динамического равновесия [4].

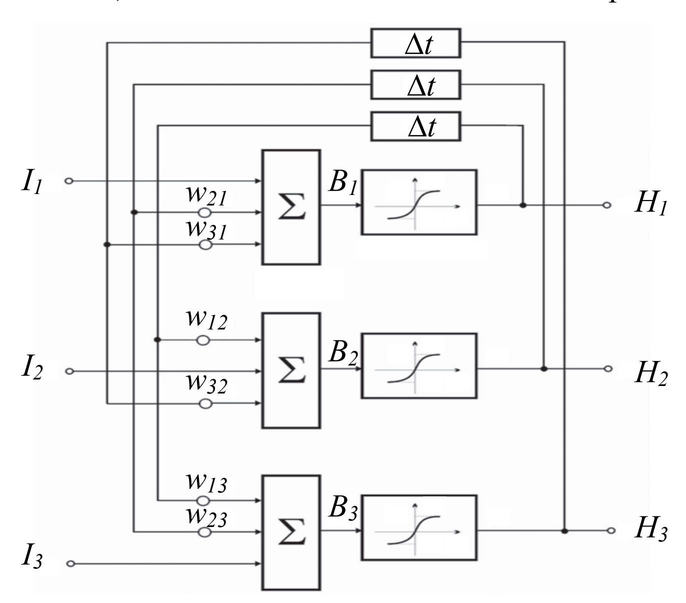


Рисунок 2 – Архитектура рекуррентной сети Хопфилда

Нейроны сети входят в состояние равновесия и принимают собственные значения энергии (в зависимости от функции активации). Взаимодействия нейронов построенной сети обусловлены динамикой и архитектурой самой сети, а также конфигурацией окружающего пространства и координатами цели, которая является точкой активации. Значения энергии нейронов на данной нейронной области (ландшафт активации) поступают на вход блока генератора траектории, который, в свою очередь, выполняет расчет траектории по данным значениям.

Применение метода планирования для группы мобильных роботов

Для малых групп мобильных роботов систему предлагается реализовать по гибридному принципу: строится общий блок конструктора пути, который последовательно пошагово формирует траектории участников группы в общем рабочем пространстве, и распределенная НС (каждый участник группы оснащен НС) формирует нейронную карту с учетом собственной целевой позиции. Для эффективного управления движением мультиагентных систем была проведена модернизация всего алгоритма функционирования системы планирования, а именно:

1. Для увеличения производительности системы изменено условие сходимости сети: сеть считается достигшей состояния равновесия, если все активные нейроны (то есть все нейроны, кроме препятствий) имеют значения отличные от нуля.

2. Введены значения собственных обратных связей нейронов («self-coupling weights») для получения более «плавного» характера убывания значений энергий нейронов при удалении от центра активации и устранения нежелательного эффекта попадания нейрона, находящегося на необходимой точке траектории среди большого количества препятствий («нулевых» нейронов), в так называемую «потенциальную яму».

3. В алгоритме реализована возможность динамического изменения весовых коэффициентов для ускорения процесса входа сети в состояние равновесия в сложной конфигурации рабочего пространства. Веса для прямых и собственных связей: $w_s = 1 \times k$; для диагональных связей: $w_s = 0{,}7071 \times k$, где k – динамически меняющийся коэффициент ($k \le 5$).

4. Также реализована возможность динамического изменения точности дискретизации рабочего пространства (размер дискретной ячейки больше или равен габаритам робота) для повышения производительности системы при работе в простой конфигурации рабочего пространства.

5. Разработан собственный алгоритм поиска максимального градиента по матрице состояний, что позволило увеличить производительность блока конструктора пути за счет упрощения формулы расчета градиента и исключения из нее функции Евклидового расстояния: $grad(i, j) = (E_j - E_i)\, w_{ij}$, где E_i и E_j – величины активации i-го и j-го нейронов соответственно; w_{ij} – весовой коэффициент связи в направлении от нейрона i к j.

6. В алгоритм введена система приоритетов и условий для корректного расчета траекторий каждого из мобильных роботов с обходом препятствий и избегания столкновений с другими участниками группы:

– каждому участнику группы присваивается собственное значение приоритета, таким образом, при одновременном пересечении расчетных траекторий, траектория робота с большим приоритетом остается без изменений, траектория робота с меньшим приоритетом корректируется;

– если приоритеты роботов равны, то их траектории корректируются обоюдно;

– робот, достигший конечной точки траектории, воспринимается как препятствие, и будет обходиться другими участниками группы вне зависимости от приоритета;

– при пересечении траекторий роботов в условиях, при которых невозможна корректировка (например, длинный узкий коридор), возможно обратное движение робота от заданной конечной точки траектории (с последующим возвращением на данную позицию) для свободного прохода участника группы с более высоким приоритетом.

Приведем общий алгоритм расчета траектории и планирования движений мобильных роботов: 1) ввод начальных значений. Вводятся необходимые переменные для формирования нейронной карты: текущая позиция агента, позиция цели, расположе-

ние препятствий (если есть), также для более гибкого управления коллективом вводится вектор приоритетности P = [P_1, P_2, …, P_n], где элементы вектора P – значения приоритета 1-го, 2-го и n-го мобильного робота соответственно; 2) формирование нейронных карт (получение матрицы энергии сети) для каждого из агентов; 3) пошаговый расчет траектории для каждого мобильного робота с учетом их взаимного расположения и приоритетов. Примем: E_j, E_i – векторы выходных значений энергии нейронов сети для j-го и i-го агентов; Cposj, Cposi – текущая позиция j-го и i-го роботов соответственно; Nposj, Nposi – позиция, на которую совершит переход j-й и i-й роботы соответственно; Tposj, Tposi – конечная (целевая) позиция j-го и i-го роботов соответственно; Pj > Pi. Тогда учет расположения и приоритетов выполняется по следующим условиям: а) если (Nposi=Nposj) или (Nposi=Cposj и Nposj=Cposi) в один момент времени, то значение нейрона на Nposi становится отрицательным (E(Nposi)= -E(Nposi)) и выполняется пересчет шага для i-го агента; б) если Nposj=Tposi, при этом i-й робот уже находится на Tposi (то есть прошел заданную траекторию), то выполняется пересчет шага для j-го робота (вне зависимости от приоритета).

Общая блок-схема алгоритма представлена на рис. 3.

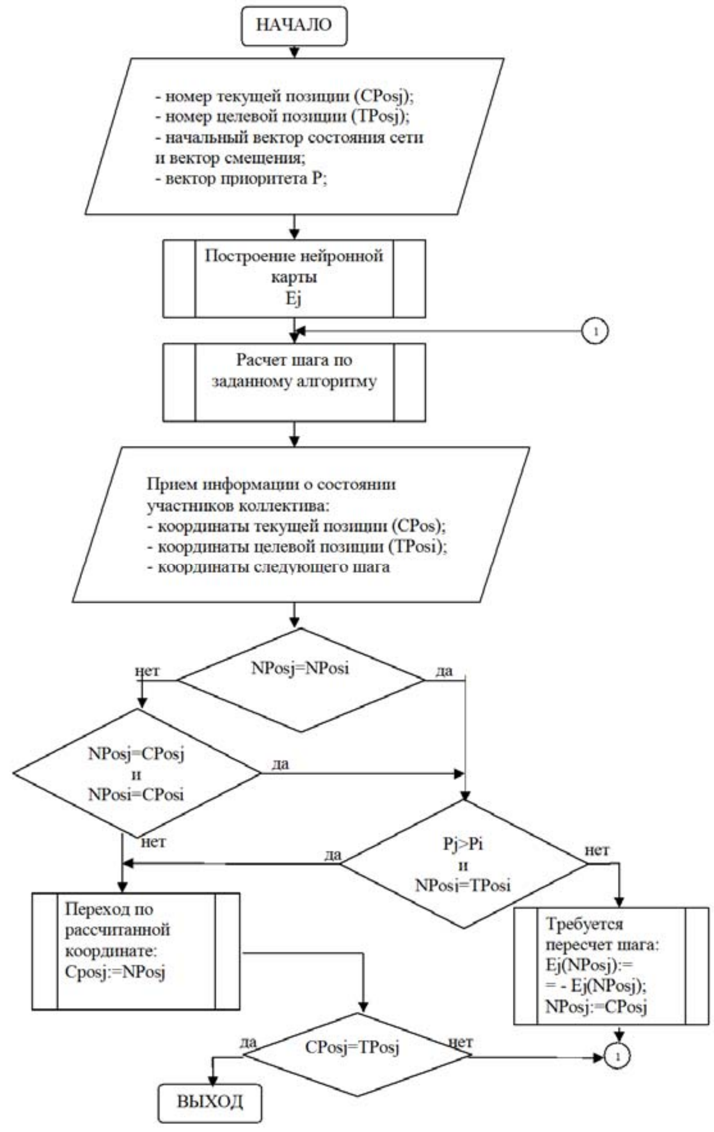


Рисунок 3 – Общая блок-схема алгоритма планирования
для группы мобильных роботов

Результаты моделирования

Эффективность работы алгоритма была подтверждена математическим моделированием. Для этого была построена математическая модель предложенной сети из 100 нейронов в пакете моделирования MatLab. Устойчивое состояние сети подавалось на вход блока конструктора пути, где производился расчет полной траектории (конфигурация местности известна и статична) или расчет части траектории (конфигурация местности меняется и динамична). Непосредственно вычислительные операции блока конструктора довольно просты, они формируют некоторую процедуру «восхождения» к вершине поверхности (цели). Направление на каждом расчетном шаге определяется максимальным градиентом по направлению от текущего нейрона i до соседнего нейрона j. Процесс повторяется для j-го нейрона и так далее вплоть до того, пока не будет найден целевой нейрон и построена конечная траектория.

Если i и j два смежных нейрона, то градиент по направлению от i до j будет приближенно определяться по формуле:

$$grad(i, j) = (E_j – E_i)\ \omega_{ij},$$

где E_j – величина активации i-го (текущего) нейрона, E_i – величина активации j-го нейрона; ω_{ij} – весовой коэффициент связи в направлении от i к j.

После выбора максимального градиента и перехода на j-й нейрон значение энергии i-го в матрице активации умножается на –1 ($E_i = – E_i$). Данная операция проводится для того, чтобы избежать возникновения эффекта рысканья и чтобы направления, по которым еще не перемещался агент, имели более высокий приоритет.

Стоит отметить, что при завершении процесса активации значения энергии нейронов, связанных с нулевыми нейронами (расположенных вблизи препятствий), всегда будет ниже, чем значение нейронов, связанных с ненулевыми. Данный эффект является своеобразной «ближней предусмотрительностью» агента, что предполагает плавный обход препятствий.

В случае, если цель недостижима (агент окружен препятствиями), значение нейрона-агента будет равно 0, а также все нейроны, находящиеся в окружении, будут находиться в нулевом состоянии, так как волна распространения от нейрона-цели не будет доходить до них через препятствия. Это условие проверяется в самом начале алгоритма и, если оно выполняется, то блок конструктора пути будет выдавать сообщение о невозможности расчета траектории.

Для группы мобильных роботов расчет траектории и позиционирование выполняются в следующем порядке:

– ввод начальных значений. Вводятся необходимые переменные для формирования нейронной карты: текущая позиция агента, позиция цели, расположение препятствий (если есть), также для более гибкого управления коллективом вводится вектор приоритетности $P = [P_1, P_2, …, P_n]$, где элементы вектора P – значения приоритета 1-го, 2-го и n-го мобильного робота соответственно;

– формирование нейронных карт (получение матрицы энергии сети) для каждого из агентов;

– пошаговый расчет траектории с привязкой ко времени для каждого мобильного робота с учетом их взаимного расположения и приоритетов.

Введем следующие условные обозначения:

P = [P1, P2, P3] – вектор приоритета;

target 1, 2, 3 – номера позиции целей 1-го, 2-го и 3-го роботов соответственно;

start 1, 2, 3 – номера начальных (текущих) позиций 1-го, 2-го и 3-го роботов;

obst – вектор, элементы которого – это номера расположения препятствий, если obst = 0, то препятствия не установлены.

Выходные переменные:
steps 1, 2, 3 – количество времени, затраченное 1-м, 2-м или 3-им роботом на прохождение траектории;
N agent step – момент времени пересечения N-м роботом траектории другого робота;
crossing m_n – позиция одновременного пересечения траекторий робота m и робота n;
current position – текущая позиция N-робота;

Результаты моделирования представлены на рис. 4 и 5. Окружностями обозначены вероятностные точки пересечения траекторий.

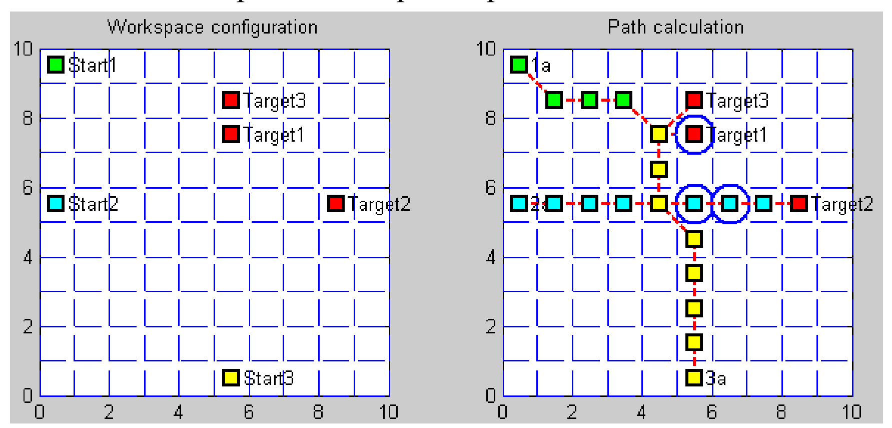


Рисунок 4 – Результаты моделирования при пересечении траекторий трех мобильных роботов

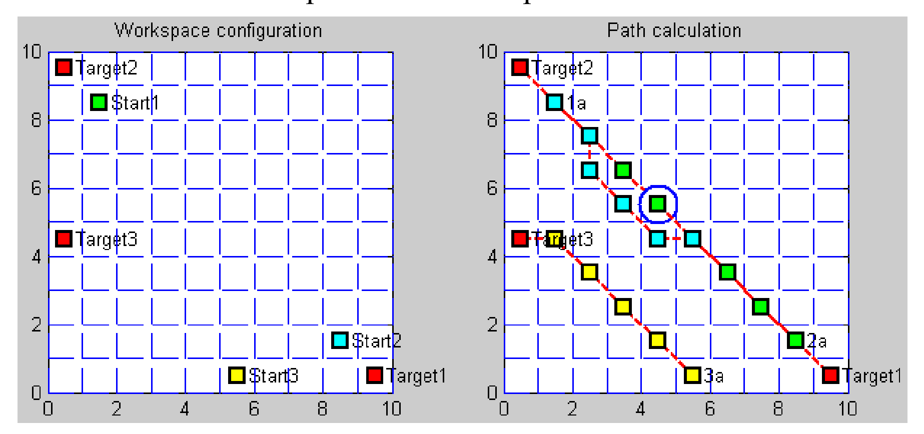


Рисунок 5 – Результаты моделирования при встречном пересечении траекторий 1-го и 2-го роботов

Входные и выходные переменные результатов моделирования, представленных на рис. 4, определены следующими значениями:

target1 =26	*3rd agent step*: steps3 = 5
start1 =1	*crossing* 3-2: 46
target2 =49	*current position*: 56
start2 =41	*3rd agent step*: steps3 = 6
target3 =16	*crossing* 3-2: 47
start3 =96	*current position*: 56
P = [3, 2, 1]	*3rd agent step*: steps3 = 9
	crossing 3-1: 26
	current position: 35
	steps1 =5 steps2 =8 steps3 = 11

Входные и выходные переменные результатов моделирования, представленных на рис. 5, определены следующими значениями:

target1 =100 *start1* =12
target2 =1 *start2* =89
target3 =51 *start3* =96

2rd agent step: *steps2* = 4
crossing 2-1: 45 *current position*: 56
steps1 =8 *steps2* =10 *steps3* =5

Как видно из полученных в ходе моделирования результатов, для достижения бесконфликтного движения в соответствии с предложенным мультиагентным алгоритмом планирования, роботы не только своевременно изменяют маршруты своего движения (траектории 1-го и 2-го роботов на рис. 5), но и осуществляют изменение скорости своего движения (траектория 2-го робота на рис. 4). Стоит отметить, что при завершении процесса активации значения энергии нейронов, связанных с нулевыми нейронами (расположенных вблизи препятствий), всегда будет ниже, чем значение нейронов, связанных с ненулевыми. Данный эффект является своеобразной «ближней предусмотрительностью» агента, что предполагает плавный обход статических и динамических препятствий.

В дальнейшем планируется разработка аппаратной поддержки централизованной системы управления на базе стационарных вычислительных комплексов с использованием нейроускорителей, а также разработка распределенной децентрализованной системы с учетом аппаратной специфики бортовых комплексов.

Литература

1. Ziemke T. Adaptive behavior in autonomous agents / T. Ziemke // Presence. – 2003. – № 7(6). – P. 564-587.
2. Glasius R. Neural Network Dynamics for Path Planning and Obstacle Avoidance / R. Glasius, A. Komoda and S. Gielen // Neural Networks. – 1995. – № 8 (1). – P. 125-133.
3. Даринцев О.В. Использование нейронной карты для планирования траектории мобильного робота / О.В. Даринцев, А.Б. Мигранов // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. – С. 300-307.
4. Рычагов М.Н. Нейронные сети: многослойный перцептрон и сети Хопфилда / М.Н. Рычагов // EXPonenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – № 1.

О.В. Дарінцев, А.Б. Мігранов, Б.С. Юдінцев

Нейромережний алгоритм планування траєкторій для групи мобільних роботів

Розглядаються питання побудови інтелектуальної системи планування траєкторій руху для групи мобільних роботів на базі рекурентної нейронної мережі. Планування реалізоване за гібридним принципом і полягає в побудові загального блоку конструктора дороги для формування траєкторій учасників групи в робочому просторі і використанні розподіленої рекурентної нейронної мережі для формування нейронної карти з врахуванням цільових позицій кожного з мобільних роботів.

O.V. Darintsev, A.B. Migranov, B.S. Yudincev

Neural Network Algorithm of Planning Trajectories for a Group of Mobile Robots

The questions of planning intellectual system construction, which are based on a recurrent neural network, for mobile robots group trajectories are considered. Planning procedure is realized by a hybrid principle and consists of the general block of the path designer, which calculates (forms) trajectories for group participants in working space and the usage of the distributed recurrent neural network for designing a neural card taking into account target positions of each mobile robot.

Статья поступила в редакцию 23.12.2010.